

УДК 519.872.5:681.142.2

Симметричная маркерная кольцевая локальная сеть со случайным выбором дисциплины обслуживания с сокращением

В.В. БУРАКОВСКИЙ

Рассматривается симметричная кольцевая локальная сеть с протоколом маркерного доступа с N абонентскими станциями, на каждой из которых имеется буфер конечной емкости m . При поступлении маркера с вероятностью g_k включается дисциплина обслуживания с сокращением k , $1 \leq k \leq m$. Потоки поступающих сообщений предполагаются пуассоновскими, независимыми и одинаковой интенсивности λ для каждой станции. Получены матрично-векторная система, позволяющая вычислить стационарные вероятности, а также основные вероятностно-временные характеристики рассматриваемой локальной сети.

Ключевые слова: маркерная кольцевая локальная сеть, станция, сообщение, буфер конечной емкости, дисциплина обслуживания с сокращением k , стационарные вероятности состояний.

The symmetric token-passing ring local area network with N stations in which each station has a finite capacity m buffer is studied. When token arrives the service discipline decrementing k with the probability g_k , $1 \leq k \leq m$ is on. The message arrival streams at each station are assumed to be independent Poisson processes with the same rates λ . The matrix-vector system for the steady-state probabilities and main characteristics of the considered network are obtained.

Keywords: token-passing ring local area network, station, message, finite capacity buffer, ordinary, decrementing k service discipline, steady-state probabilities.

Введение. Среди различных классов вычислительных сетей большой интерес для автоматизации производства, учрежденческой деятельности представляют локальные вычислительные сети (ЛВС). Применение ЛВС в настоящее время приобрело массовый характер во многих отраслях машиностроения, при подключении автоматизированных станций на заводах, в таких наукоемких отраслях как авиаприборостроение, ракетостроение и другие. Технология Token Ring (маркерное кольцо) получила распространение везде, где есть ответственные приложения, для которых важна не скорость, а надежность передачи информации. Поэтому представляет интерес проблема повышения эффективности их практического применения.

Протокол маркерного доступа Token Passing Ring [1, с. 101] – одна из самых эффективных схем, обеспечивающих связь между станциями в кольцевой сети передачи данных. Кольцевая ЛВС [2, с. 121] с маркерным доступом относится к протоколам детерминированного множественного доступа циклического типа. Она представляет собой совокупность абонентских станций (АС), соединенных последовательно двухточечными линиями. АС получают право на передачу данных при получении специального служебного кадра – маркера, циркулирующего по кольцу. Функционирование сети происходит в соответствии со стандартом ANSI/IEEE 802.5 [3, с. 24]. При поступлении маркера на АС может случайным образом подключаться дисциплина обслуживания сообщений с сокращением k (decrementing k) [4, с. 11]. Математическими моделями КЛВС с маркерным доступом являются циклические системы массового обслуживания [5, с. 64]. Адекватность математических моделей, описывающих КЛВС с дисциплиной обслуживания с сокращением k стоящих в буфере АС сообщений, проверялась при помощи разработанных имитационных моделей [6, с. 21]. Основные вероятностно-временные характеристики, полученные с помощью стационарных вероятностей состояний рассматриваемой сети, необходимы для анализа эффективности и оптимизации функционирования КЛВС [7, с. 9].

Описание математической модели. Рассматривается симметричная кольцевая локальная вычислительная сеть (КЛВС) с протоколом маркерного доступа (стандарт ANSI/IEEE 802.5). На каждой из абонентских станций кольца имеется конечный буфер емкости m ($m > 1$). Всего в сети N АС, связанных между собой моноканалом. АС занумерованы таким

образом, что номер станции увеличивается по направлению движения маркера по кольцу. При поступлении маркера на очередную АС случайным образом подключается одна из дисциплин обслуживания с сокращением k находящихся в буфере сообщений. С вероятностью g_k , $1 \leq k \leq m$, подключается соответствующая параметру k дисциплина обслуживания с сокращением. Данная дисциплина обслуживания сообщений предполагает, что маркер уходит из буфера АС после обслуживания r сообщений, где $r = \min(\zeta, k)$, ζ – число сообщений в буфере в момент поступления маркера на станцию, после чего маркер передается следующей станции. Дисциплина обслуживания с сокращением k обобщает ординарную (ordinary) и вентильную (gated) дисциплины обслуживания сообщений при $k = 1$ и $k = m$ соответственно.

Поступающие на каждую АС, независимо от номера, сообщения образуют простейший поток интенсивности λ . В момент поступления маркера на АС она может находиться в одном из $m + 1$ состояний в зависимости от числа сообщений, находящихся в буфере АС, с соответствующими вероятностями p_i , $0 \leq i \leq m$. Сообщения, поступающие на АС с полностью занятым буфером, теряются. После прихода маркера на АС начинается обслуживание имеющихся в буфере сообщений и полагается, что до ухода маркера со станции буфер блокируется для поступления новых сообщений.

Обозначим через δ время передачи сообщения между соседними АС. Для приема сообщения на АС – адресате необходимо время a . Время передачи (обслуживания) одного сообщения для любой станции $\Delta = N\delta + a$.

Будем считать, что если на рассматриваемой АС подключается дисциплина обслуживания с сокращением k , то и на всех АС до возвращения маркера на рассматриваемую станцию также происходит обслуживание согласно этой же дисциплине. При следующем поступлении маркера на рассматриваемую АС случайным образом опять для всех станций включается какая-то одна из дисциплин обслуживания с сокращением k стоящих в буферах сообщений.

Будем рассматривать состояния КЛВС в моменты поступления маркера на станции. Поскольку имеется очевидная симметрия процессов передачи сообщений в сети, исследуется произвольная АС кольца. Поведение рассматриваемой КЛВС в моменты поступления маркера на фиксированную АС описывается неприводимой, непериодической цепью Маркова.

Стационарные вероятности и вероятностно-временные характеристики функционирования сети. Процедура определения стационарных вероятностей состояний рассматриваемой КЛВС [8, с. 39]:

$$(p_0, p_1, \dots, p_m) = (p_0, p_1, \dots, p_m) \sum_{i=1}^k g_i Q_i,$$

$$\sum_{i=0}^m p_i = 1,$$

где Q_i – матрицы переходных вероятностей размерности $(m + 1) \times (m + 1)$ для дисциплины обслуживания с сокращением i , $1 \leq i \leq m$, соответственно.

Матрица переходных вероятностей для дисциплины обслуживания сообщений с сокращением i имеет вид:

$$Q_i = \begin{bmatrix} q_0 & q_1 & q_2 & \dots & q_{m-i} & q_{m-i+1} & \dots & q_{m-1} & q_m \\ q_0 & q_1 & q_2 & \dots & q_{m-i} & q_{m-1+1} & \dots & q_{m-1} & q_m \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_0 & q_1 & q_2 & \dots & q_{m-i} & q_{m-i+1} & \dots & q_{m-1} & q_m \\ 0 & q_0 & q_1 & \dots & q_{m-i+1} & q_{m-i+2} & \dots & q_{m-2} & q_{m-1} + q_m \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & q_0 & q_1 & \dots & q_i & \sum_{j=i+1}^m q_j \end{bmatrix},$$

а элементы ее вычисляются по формулам:

$$q_i = \sum_{k=0}^{(N-1)i} \frac{(\lambda(N\delta + k\Delta))^r}{r!} e^{-\lambda(N\delta + k\Delta)} \sum_{r_0=0}^{N-1} \dots \sum_{r_m=0}^{N-1} \frac{k!}{r_0! r_1! \dots r_m!} p_0^{r_0} p_1^{r_1} \dots p_m^{r_m}, 0 \leq i \leq m-1, q_m = 1 - \sum_{i=0}^{m-1} q_i.$$

Здесь должно также выполняться следующее условие:

$$\sum_{j=0}^m (jr_j I_{\{j \leq i\}} + ir_j I_{\{j > i\}}) = k.$$

Основными характеристиками, определяющими эффективность функционирования рассматриваемой КЛВС, являются следующие:

1. Коэффициент загрузки АС

$$KZ = 1 - p_0.$$

2. Средняя длина очереди на АС

$$L = \sum_{i=1}^m i p_i.$$

3. Средняя продолжительность обслуживания сообщений на АС

$$TM = \Delta \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m (p_i g_k k I_{\{i \geq k\}} + p_i g_k i I_{\{i < k\}}).$$

4. Среднее число обслуженных за время обращения маркера по кольцу сообщений

$$MS = \sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^{Nk} g_k i \sum_{r_0=0}^N \dots \sum_{r_m=0}^N \frac{i!}{r_0! \dots r_m!} p_0^{r_0} \dots p_m^{r_m} I_{\{\sum_{j=0}^m (jr_j I_{\{j \leq k\}} + kr_j I_{\{j > k\}}) = i\}}.$$

5. Среднее время обращения маркера по кольцу

$$TL = N\delta + \Delta \times MS.$$

6. Среднее число поступивших на одну АС сообщений за время обращения маркера по кольцу

$$MNS = \lambda \times TL.$$

7. Среднее число сообщений, поступивших в КЛВС за время обращения маркера

$$MNR = N \times MNS.$$

8. Среднее число сообщений, оставшихся в буфере АС после обслуживания

$$MNM = \sum_{i=0}^m \sum_{k=1}^m p_i g_k (i - k) I_{\{i > k\}}.$$

9. Среднее число свободных мест в буфере АС после обслуживания

$$MNF = \sum_{i=0}^m \sum_{k=1}^m p_i g_k ((m - i + k) I_{\{i > k\}} + (m - i) I_{\{i \leq k\}}).$$

Заключение. В работе представлена математическая модель симметричной кольцевой локальной сети с протоколом маркерного доступа, на каждой станции которой имеется буфер конечной емкости. Обслуживание сообщений происходит по одной из k дисциплин с сокращением, которые подключаются к очереди случайным образом. Описанная модель основана на предположении о независимости процессов, протекающих на различных станциях. Она позволяет значительно сократить число состояний и упростить процедуру определения стационарных вероятностей сети по сравнению с несимметричной [9, с. 109], а также облегчить получение основных характеристик ее функционирования и построение имитационной модели. Локальные сети такого типа очень широко используются в настоящее время и проблемы их оптимизации, эффективности работы являются актуальными.

Литература

1. Takagi, H. Analysis of Polling Systems / H. Takagi. – Cambridge, M.A. : MIT Press, 1986. – 198 p.
2. Бакс, В. Кольцевые локальные сети с маркерным доступом и их производительность / В. Бакс // ТИИЭР. – 1989. – № 2. – С. 121–142.

3. ANSI/IEEE 802.5 Standard-1985. Token-passing ring access method and physical layer specification // IEEE Press. – 1985. – 89 p.
4. Бураковский, В.В. Локальные вычислительные сети: курс лекций / В.В. Бураковский, В.О. Родченко. – Гомель : УО «ГГУ им. Ф.Скорины», 2008. – 78 с.
5. Бураковский, В.В. Маркерная кольцевая локальная сеть с конечными буферами и ординарным обслуживанием сообщений / В.В. Бураковский // Сборник научных трудов. – 1998. – Вып. 1 : Аэрокосмическое приборостроение России. Сер. 2. Авионика. – С. 63–67.
6. Бураковский, В.В. Имитационная модель КЛВС с бесконечными буферами и вентильным обслуживанием / В.В. Бураковский // Efektivní nástroje moderních věd – 2013 : materiály IX mezinárodní vědecko-praktická conference, Praha, 27 dubna – 05 květn 2013 roku. – Díl 40 : Matematika. – Praha : Publishing House «Education and Science» s.r.o., 2013. – P. 19–22.
7. Бураковский, В.В. Кольцевая локальная сеть с протоколом маркерного доступа / В.В. Бураковский, Г.А. Медведев // Техника средств связи. Сер. Системы связи. – 1990. – Вып. 7. – С. 9–16.
8. Бураковский, В.В. Симметричная маркерная кольцевая локальная сеть со случайным выбором дисциплины обслуживания / В.В. Бураковский // Проблемы физики, математики и техники. – 2016. – № 2 (27). – С. 39–41.
9. Бураковский, В.В. Маркерная кольцевая локальная сеть со случайным выбором дисциплины обслуживания с сокращением / В.В. Бураковский // Известия Гомельского гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2017. – № 3 (102). – С. 109–113.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступила в редакцию 19.02.2018